

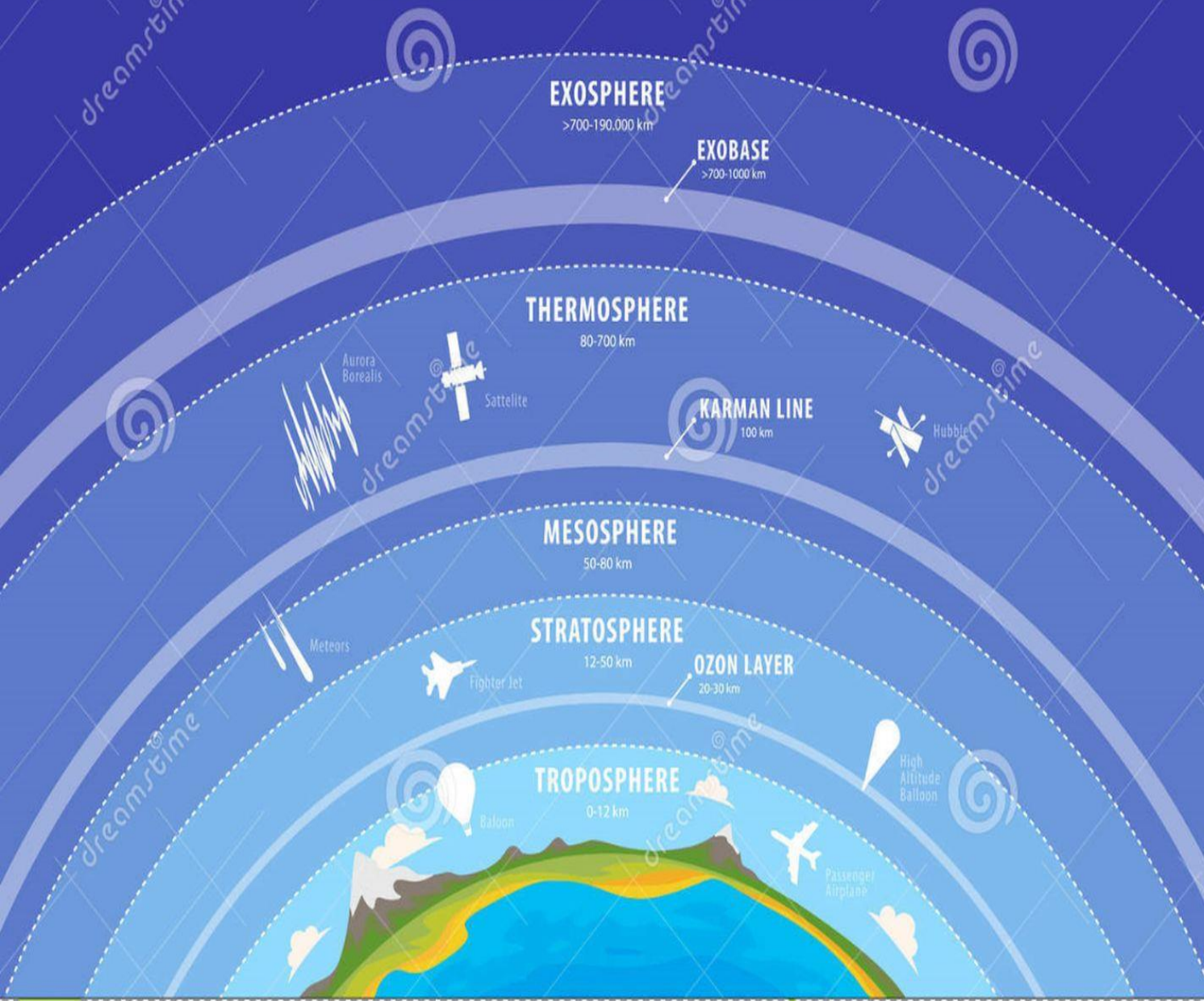
# 电场测量方法的介绍

吴 晗

2021.07.11

# THE EARTH'S ATMOSPHERE

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua. Ut enim ad minim veniam, quis nostrud exercitation ullamco laboris nisi ut aliquip ex ea commodo consequat.



探空火箭/卫星电场仪  
(>30 km)

球载大气电场仪  
(高空, m~30 km)

地基大气电场仪  
(近地表, m)

# 一：场磨式大气电场仪（地基+球载）

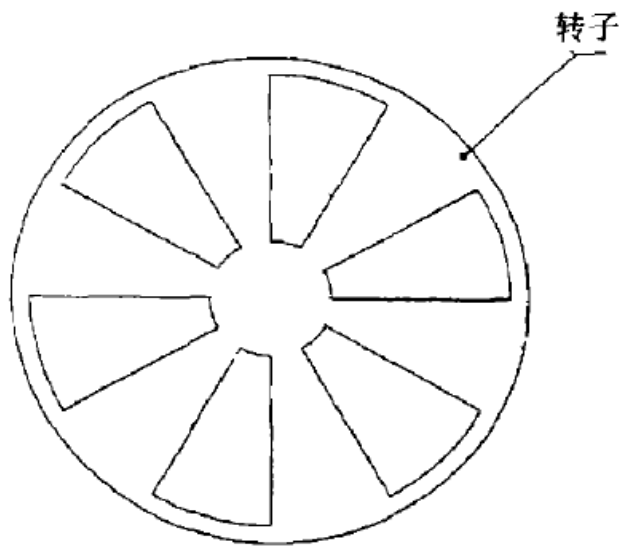
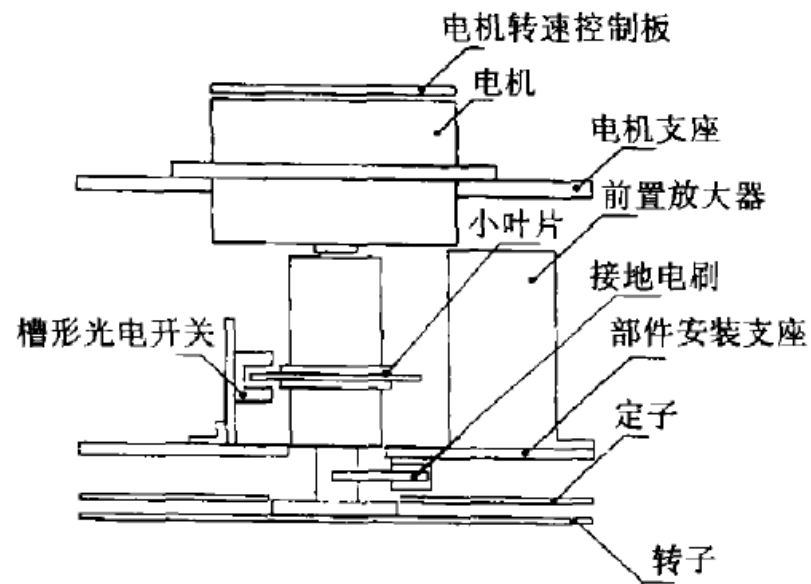
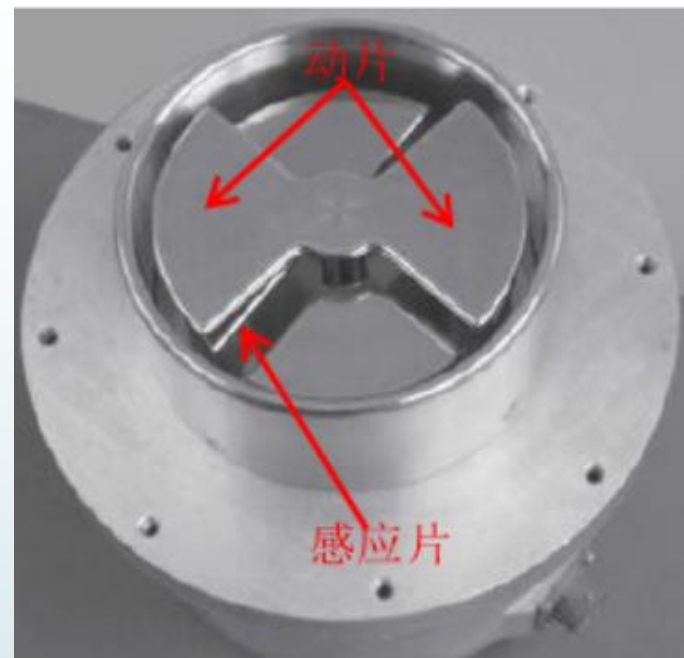


图 1 旋转式地面电场仪原理示意图

Fig.1 Principle scheme of inverted electric field mill

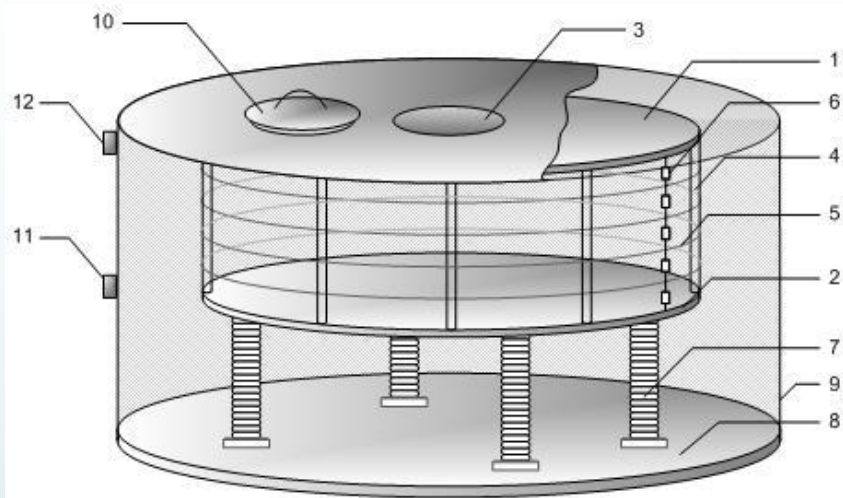


场磨式电场仪示意图(Bateman et al., 2007)

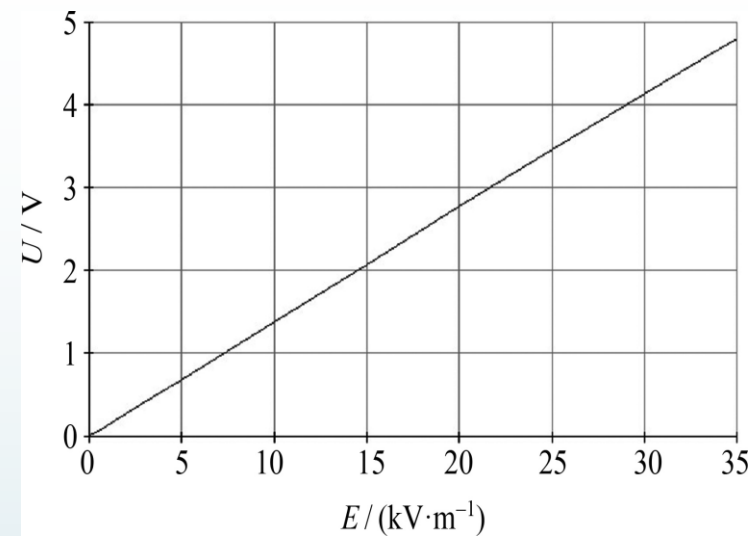
**测量原理：**利用导体在电场中产生的感应电荷测量电场。  
当转子旋转时，使定子交替地暴露在电场中或被接地屏蔽片所遮挡，从而产生交变信号输出。

**缺点：**不适用于等离子环境中的电场测量，场磨式电场仪的感应电荷会受到等离子体的干扰。

## ➤ 标定方法



- 1—高电位板, 2—低电位板, 3—法兰盘  
4—8根绝缘支柱, 5—等电位导电环, 6—等分压电阻  
7—4根绝缘支柱, 8—底座, 9—屏蔽外罩  
10—不锈钢防尘盖, 11—高绝缘接线柱  
12—低压接线柱



通过对比所施加的电压和测量出来的电场强度，若二者之间线性关系好，  
则说明电场仪性能良好。





地基大气电场仪

球载大气电场仪

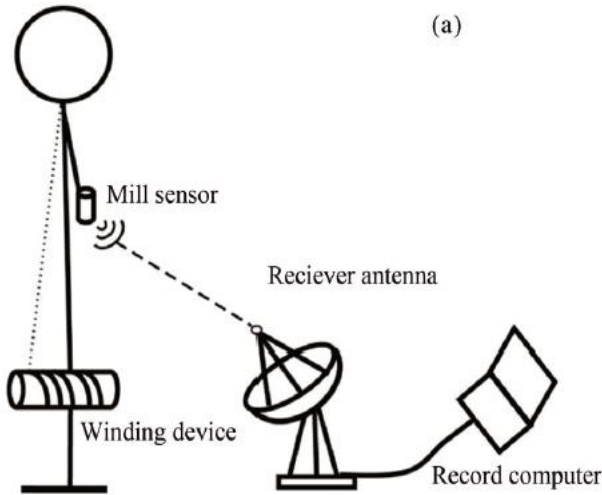
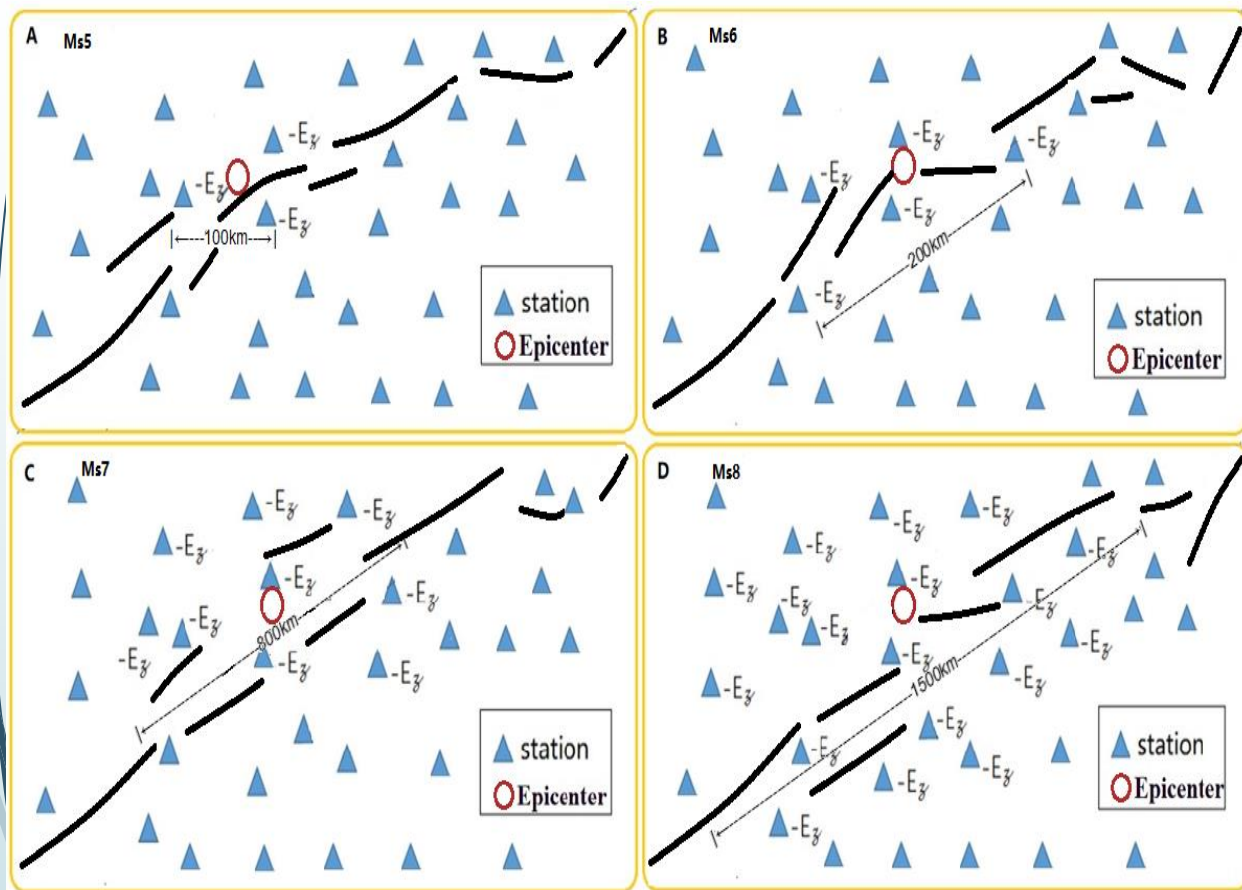


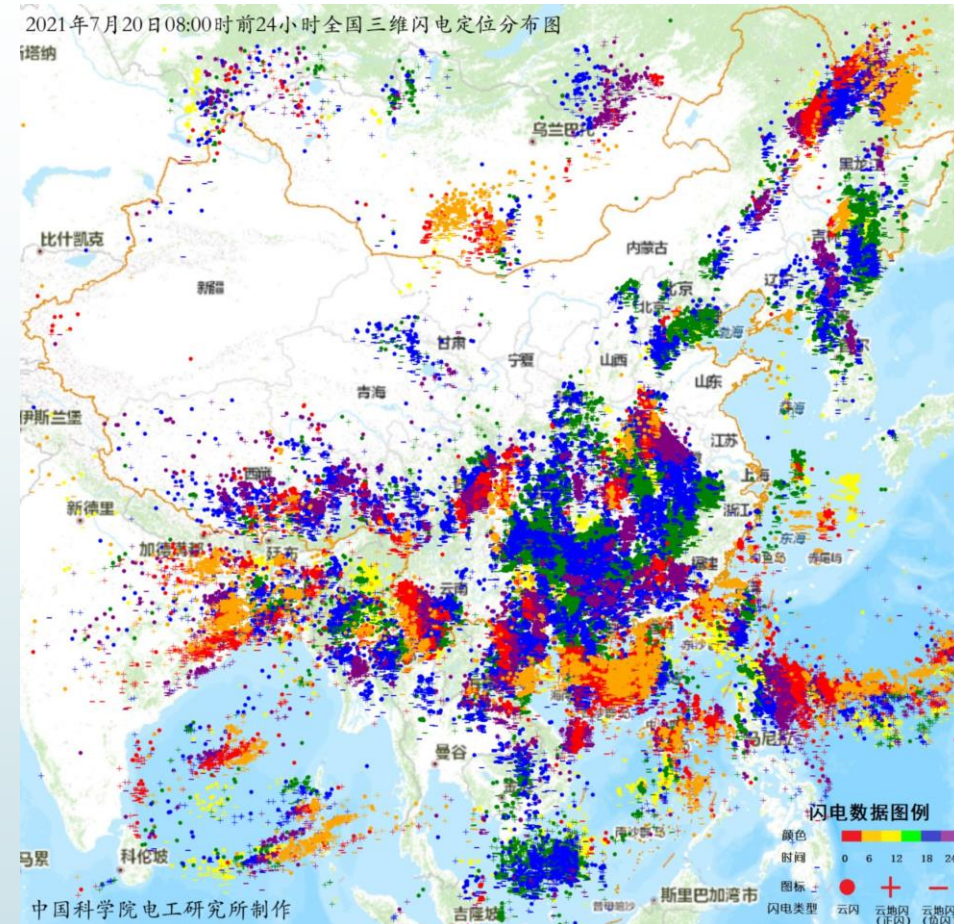
图 2 大气电场测量系统  
Fig. 2 Measurement system of atmospheric electric field

序号	系统名称	指标项	主要技术指标
1	电场传感器	采样率	采样率：10khz
2		测量范围	测量范围：-50 kV/m~+50 kV/m
3		分辨率	分辨率：5V/m
4		供电电源	供电电源：DC+12V
5		输出信号	输出信号：±5V数字量、特征电场值
6		环境温度	环境温度：（-40~+55）℃
7		环境湿度	环境湿度：0~100%

# 地基大气电场测量的应用

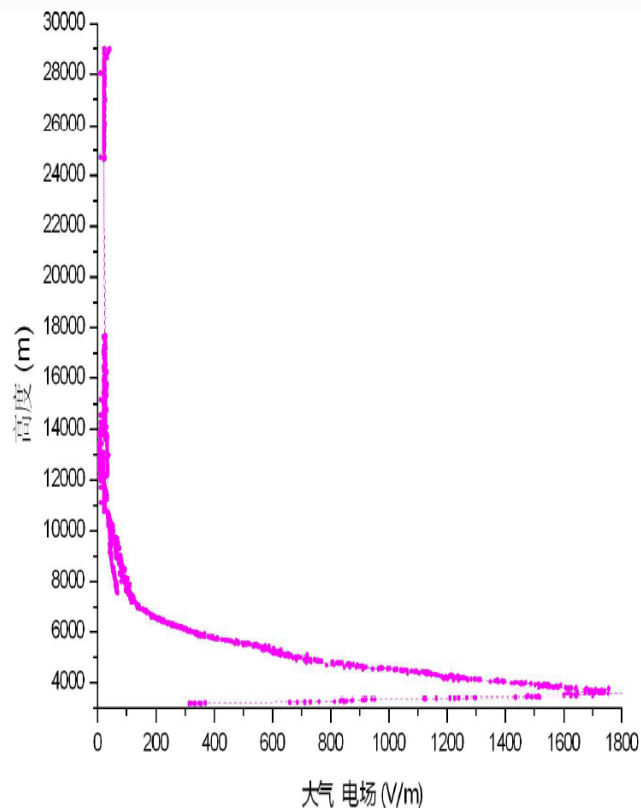


地震预测

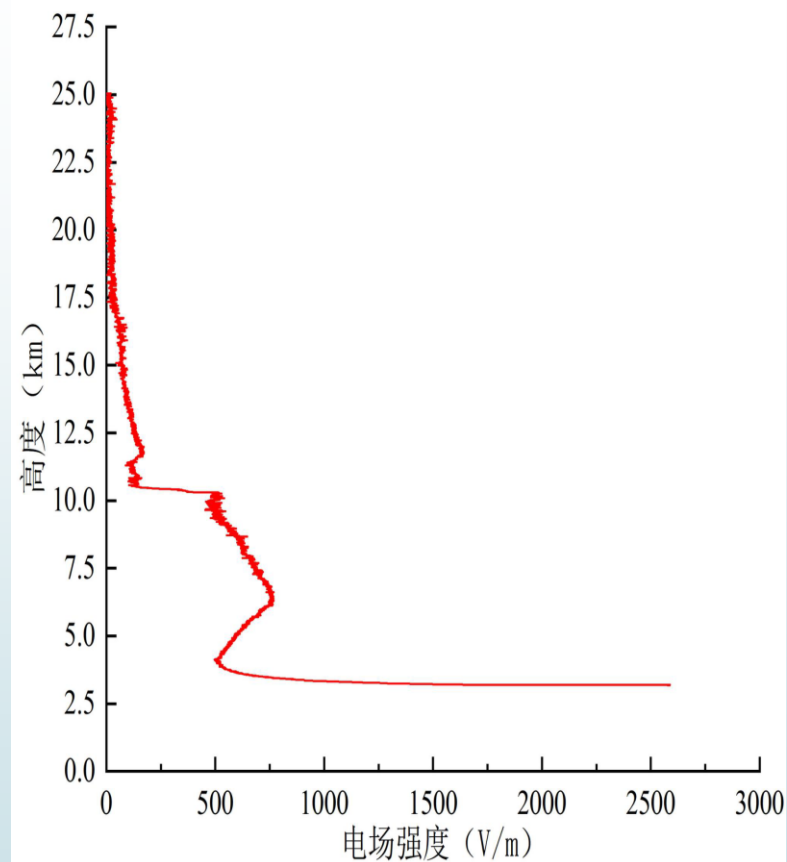


闪电定位

# 球载大气电场测量的应用



2019年8月

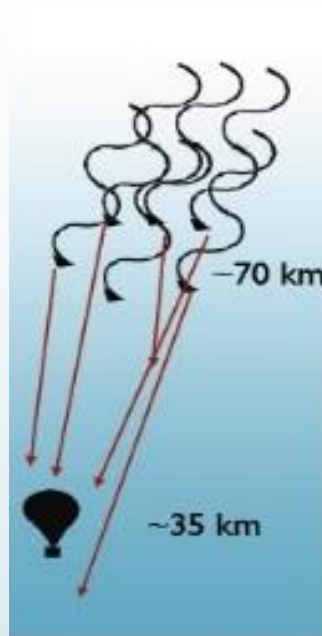
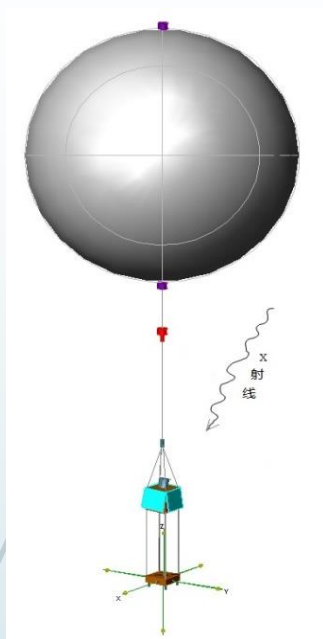


2020年9月

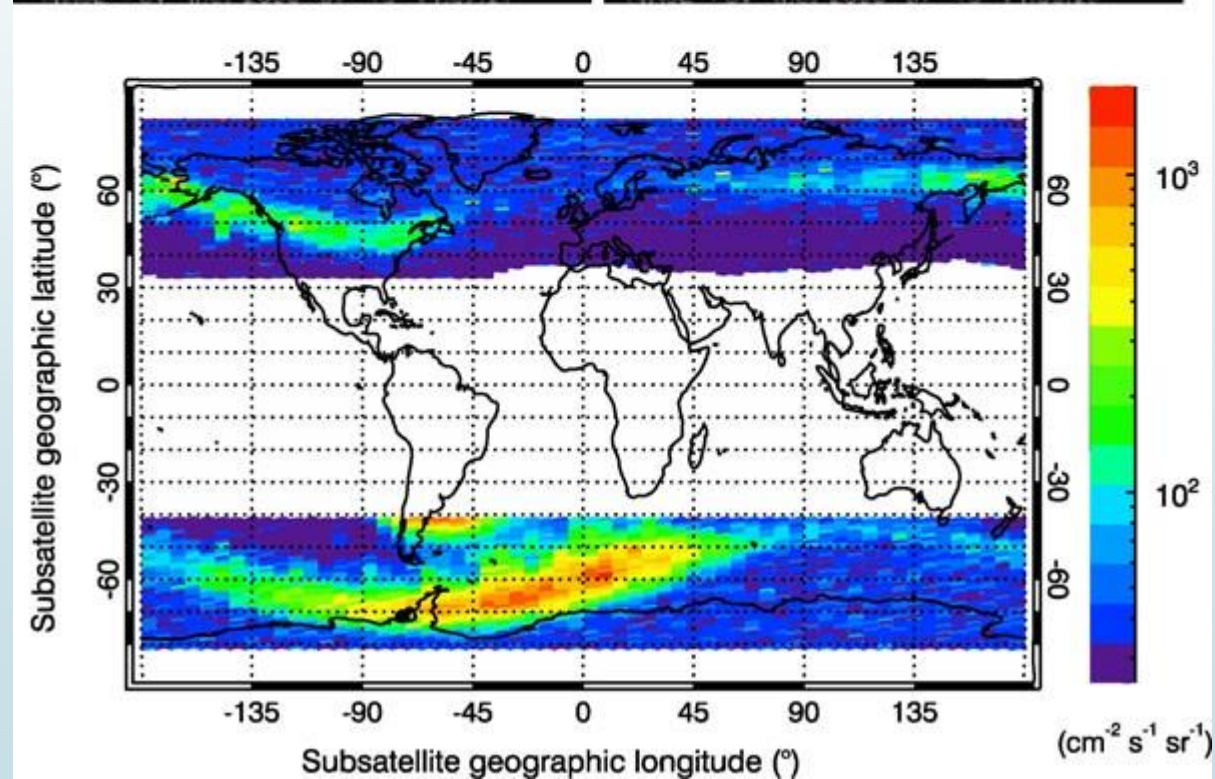
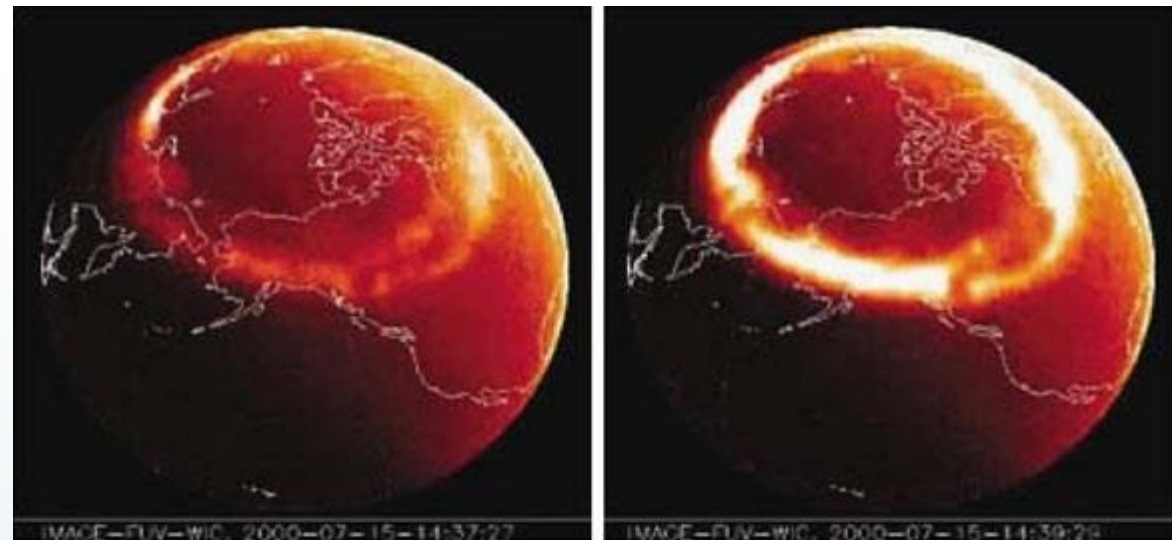
大气电场在垂直方向随高度的分布特征



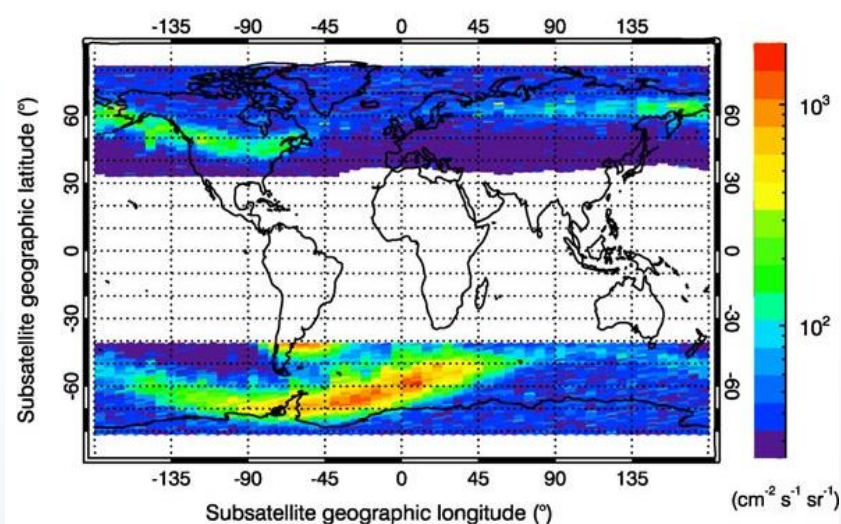
# 环北极气球观测计划



在 $L=3-7$  (磁纬 $56^{\circ}-68^{\circ}$ ) 的北半球  
亚极光带开展同时多点测量气球测量







## 探测目标

本项气球观测需要具备相应的科学仪器。这些能适应在临近空间区域进行正常观测的电磁观测设备包括空间电场仪、电导率仪、磁通门磁力仪、标量磁力仪、感应式磁力仪、高能X射线仪(高纬实验储备)及公用设备，以便能：

- 1)测量粒子沉降导致的大气静电环境变化；
- 2)测量粒子沉降导致的大气静磁环境变化；
- 3)测量粒子沉降导致的大气垂直电场扰动；
- 4)测量粒子沉降导致的低频电磁扰动；
- 5)测量粒子沉降导致的电导率分布和随时间的变化。
- 6)测量相对论粒子辐射的沉降变化

探测物理量	高度
垂直方向直流电场	0-40 km垂直结构，不同磁地方时强度变化
三向交流电场	0-40 km垂直结构，不同磁地方时100Hz-100kHz幅度变化
三向直流磁场	0-40 km垂直结构，不同磁地方时强度变化
三向交流磁场	0-40 km垂直结构，不同磁地方时10Hz-20kHz幅度变化
空间电导率	0-40 km垂直结构，不同磁地方时幅值变化
标量总磁场	0-40 km垂直结构，不同磁地方时直流绝对总强度变化
相对论电子沉降通量	25 km以上

## 气球实验的科学目标是：

1. 研究不同太阳活动事件和地球活动事件对临近空间大气电磁环境的影响；
2. 分析粒子沉降导致的大气电磁环境的变化规律和区域特点；
3. 为临近空间环境预报提供准确的电磁探测数据；

# 局限性

## ➤ 地基大气电场仪：

1. 大气电场受环境影响、人为因素干扰较大，安装选址尤为重要。
2. 不同设备的定标系数和偏移量不同，为归一化数据处理带来很大不便。

## ➤ 球载大气电场仪：

1. 高空探测时，可能会出现电池在低温环境下停止供电，发射机无法工作的现象。
2. 高空风速较大，电场仪翻转，与大气摩擦等会影响测量的大气电场数据。

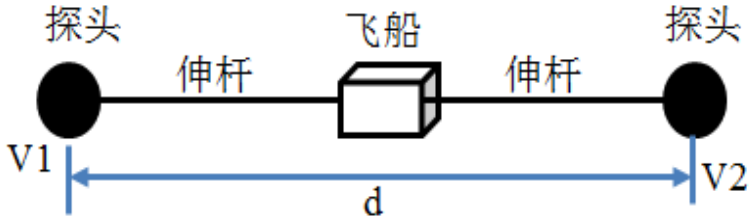
# 三：空间电场测量技术

电场测量方法	原理	优点	缺点	适用范围	备注
导体表面感应电荷测量法	利用导体在电场中产生的感应电荷来测量电场	设备相对简单，测量信号处理较容易	测量结果容易受到周围等离子体环境影响	地面以及低空大气电场测量	在 Explorer-8 卫星上首次使用
电子漂移技术法	通过电子束回旋中心的位移以及飞行时间来导出电场和磁场；通过不同能量的电子束可以得到磁场的梯度	测量精度高，能达到0.05 mV/m，能测量较小的电场值。不容易受飞船电势以及尾迹效应的影响	只能测量垂直于磁场方向的电场分量，且只能测量频率在10 Hz以下的准直流电场，无法测量交流电场。 仪器质量相对较重。	适用于等离子体较稀薄的环境中的空间电场测量。	在 GEOS 卫星上首次使用，其次在 Cluster-II 任务中使用过
电子束回旋器技术	与电子漂移技术法原理类似，通过从卫星发射人工电子束，测量电子束返回卫星的飞行时间来导出三维矢量电场和磁场幅值	测量精度高，能测量较小的电场值。不容易受飞船电势以及尾迹效应的影响	只能测量低频准直流电场，无法测量交流电场	适用于测量稀薄热等离子体中的电场	是电子漂移技术法的升级版，在空间电场探测中暂无使用的先例
双探头测量技术	通过测量给定距离的两点之间的电势差，然后除以它们之间的距离就得到了电场值	能测量的频率范围较宽，从DC到MHz，且可以实现三维矢量电场测量。	测量结果容易受飞船本身电势、尾迹效应以及光电子的干扰。	适用范围较广，可用于磁层、电离层电场测量	从上世纪60年代至今一直在使用，适用范围较广，技术较成熟。



# 双探头测量技术中不同探头的特性

探头类型	特点	缺点
裸露导线	交流信号响应较好，增益基本能达到1	DC到几百Hz频段的测量信号比较容易受光电效应影响
圆柱形探头	交流信号响应较好，增益基本能达到1	DC到几百Hz频段的测量信号比较容易受光电效应影响，测量精度依赖于伸杆长度
球形探头	能较精确测量准直流电场信号，光电效应影响小，对称性较好。	交流信号响应相对较差，增益一般在0.5到0.9之间。



在IMP-I、P、J卫星  
ISEE-1、2卫星以及  
DE-1卫星上使用过

在DE-2以及CRRES卫  
星中使用过

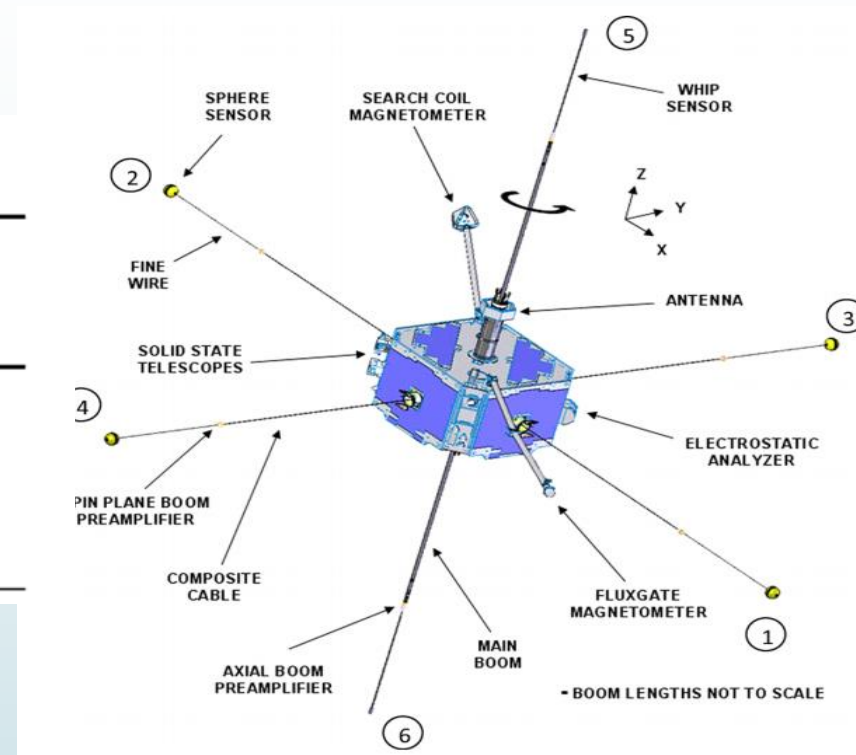
在很多卫星上使用过，  
使用最广泛

卫星任务名称	双探头电场仪伸杆长度（探头距离）	探测区域	备注
GEOS	自旋平面内：20米；轴向：2.5米	地球磁层	自旋平面内2个探头，轴向4个探头
Injun5 (Explorer-40)	2.85米	电离层	总共2个探头
S3-A (Explorer-45)	5.08米	地球磁层	总共2个探头
Hawkeye-1 (Explorer-50)	42.7米	地球磁层	总共2个探头
ISEE-1,2 (Explorer-56)	自旋平面内球形探头：73.5米； 导线型探头：179米	地球磁层外边界	自旋平面内有两类探头：球形探头和导线型探头；无轴向探头
ISEE-3 (Explorer-59)	自旋平面内：90米；轴向：0.6米	地球磁层及外边界	无
CLUSTER-II	自旋平面内伸杆长度：50米	地球磁层	自旋平面内2个探头，轴向无探头
DEMETER	伸杆长度4米	电离层	各伸杆之间互成一定角度
THEMIS	自旋平面内两对探头，一对距离49.6米，另外一对40.4米；轴向6.93米	地球磁层	无
VAP (RBSP)	自旋平面探头距离：100米；轴向探头距离：15米	Van Allen辐射带	自旋平面内4个探头，轴向2个探头
MMS	自旋平面探头距离：120米；轴向探头距离29.2米	地球磁层	自旋平面内4个探头，轴向2个探头

# 存在的问题

表 4-1 不同等离子体参数下的德拜半径(Kivelson and Russell, 2001)

等离子体	电子密度 $n_e \text{ (m}^{-3}\text{)}$	电子温度 $T_e \text{ (K)}$	磁场强度 $B \text{ (T)}$	德拜半径 $\lambda_D \text{ (m)}$
电离层	$10^{12}$	$10^3$	$10^{-5}$	$10^{-3}$
磁层	$10^7$	$10^7$	$10^{-8}$	$10^2$
太阳风	$10^6$	$10^5$	$10^{-9}$	10



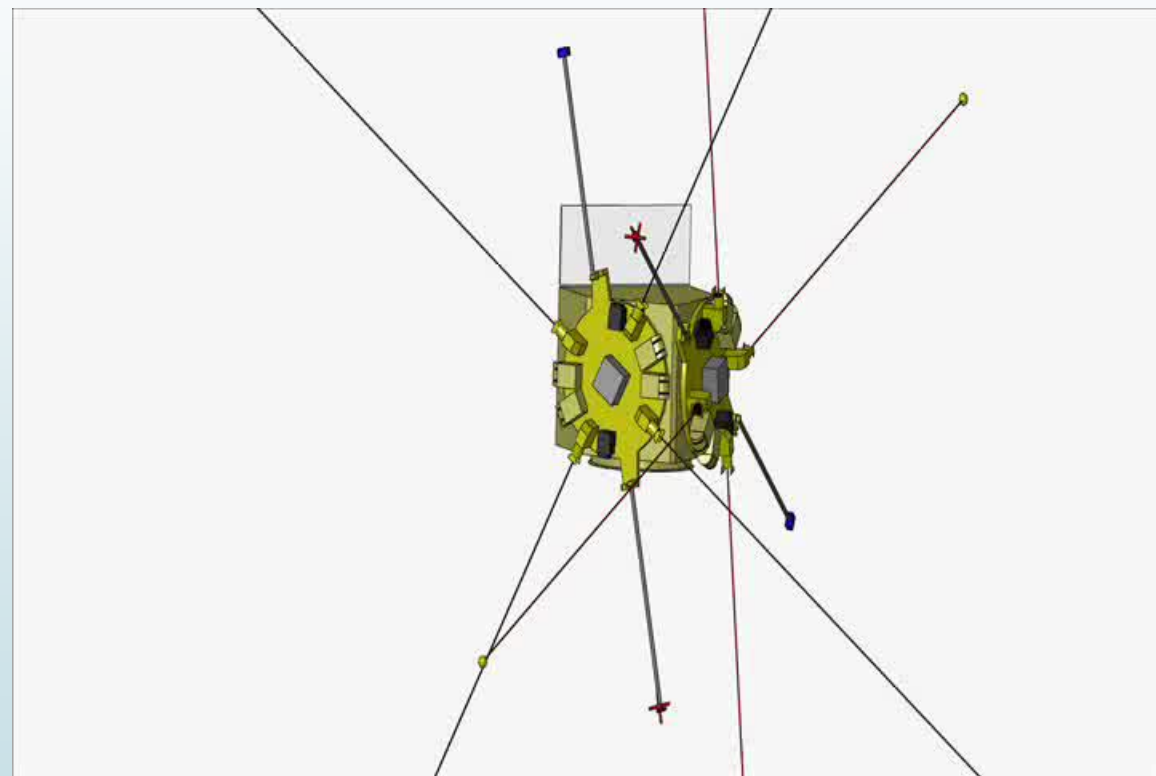
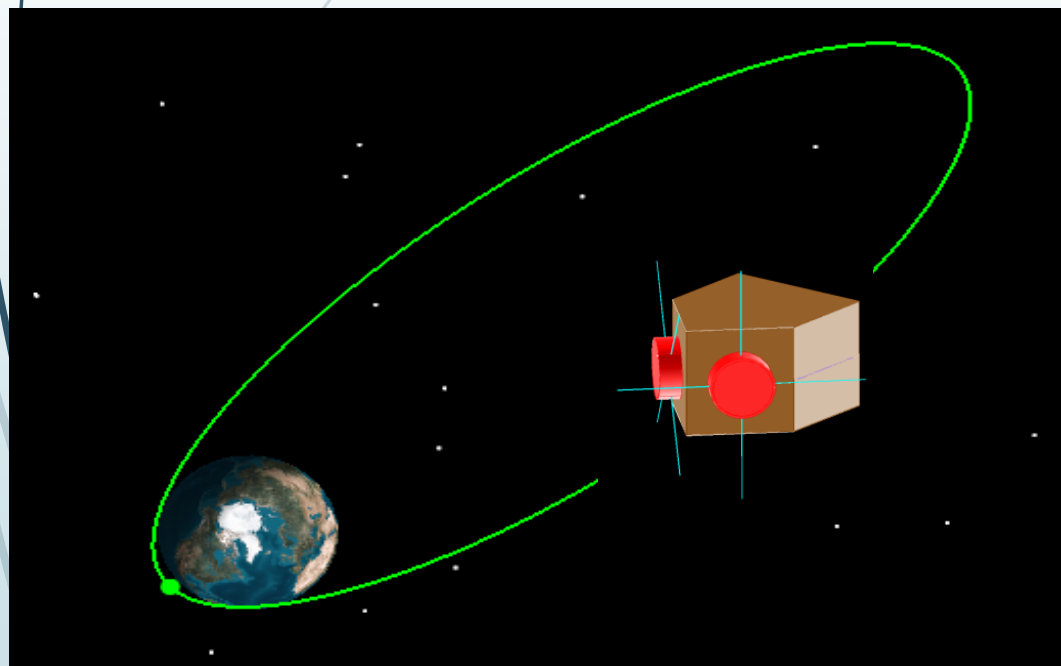
低频段测量误差大  
准三维测量！



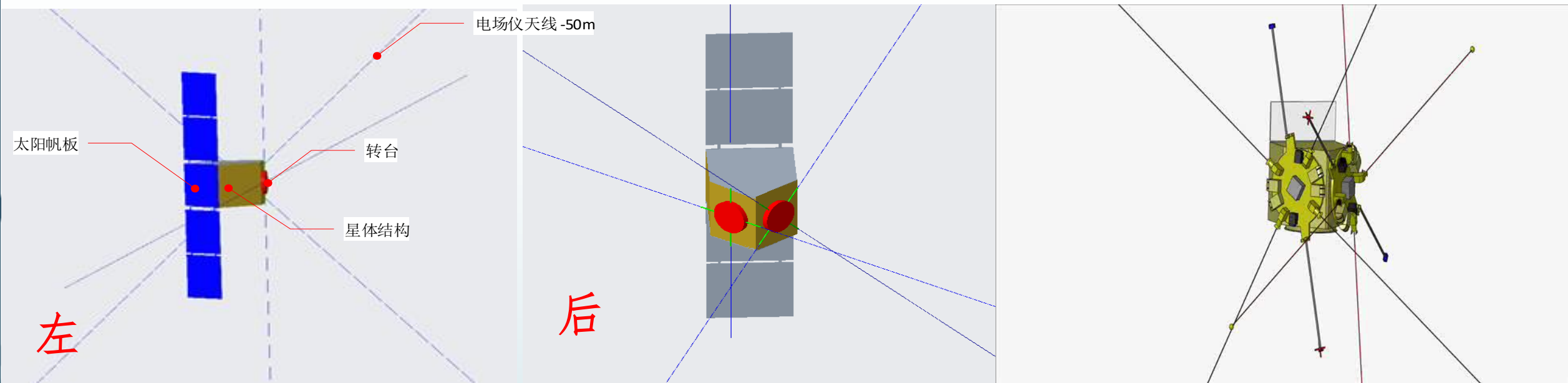
# 解决办法——新型磁层卫星，哪吒计划



专门测量空间稀薄等离子体三维电场

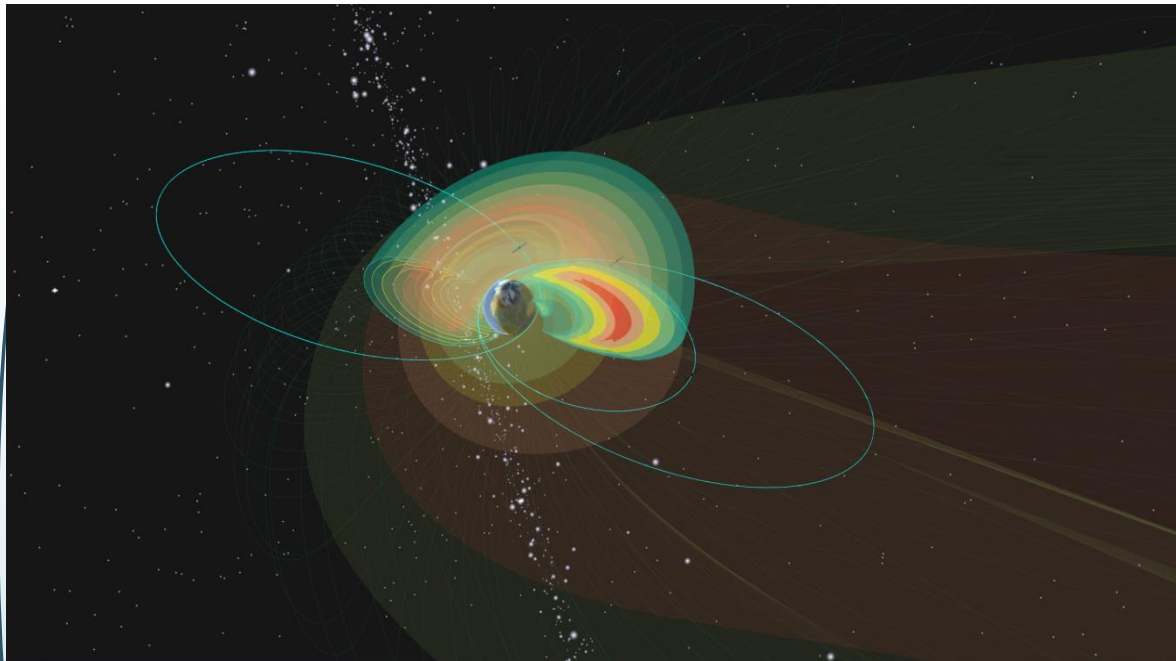


# 卫星构型设计



卫星三轴稳定，七面五边形结构平台的正面一直对准太阳方向，后面两个自旋面互相垂直，但自旋平面都与日地连线构成45夹角。两个自旋平台甩出长达100米端对端的软伸杆保证了对三向直流电场和交流电场的测量

# 空间电场与波探测计划（哪吒计划）



## 轨道设计:

### 1. 外辐射带观测

700-40000 km, 倾角 $10^\circ$ , 轨道周期12小时

### 2. 低纬磁层顶边界区观测

700-100000 km, 倾角 $10^\circ$ , 轨道周期37.35小时

### 3. 近磁尾等离子体片区观测

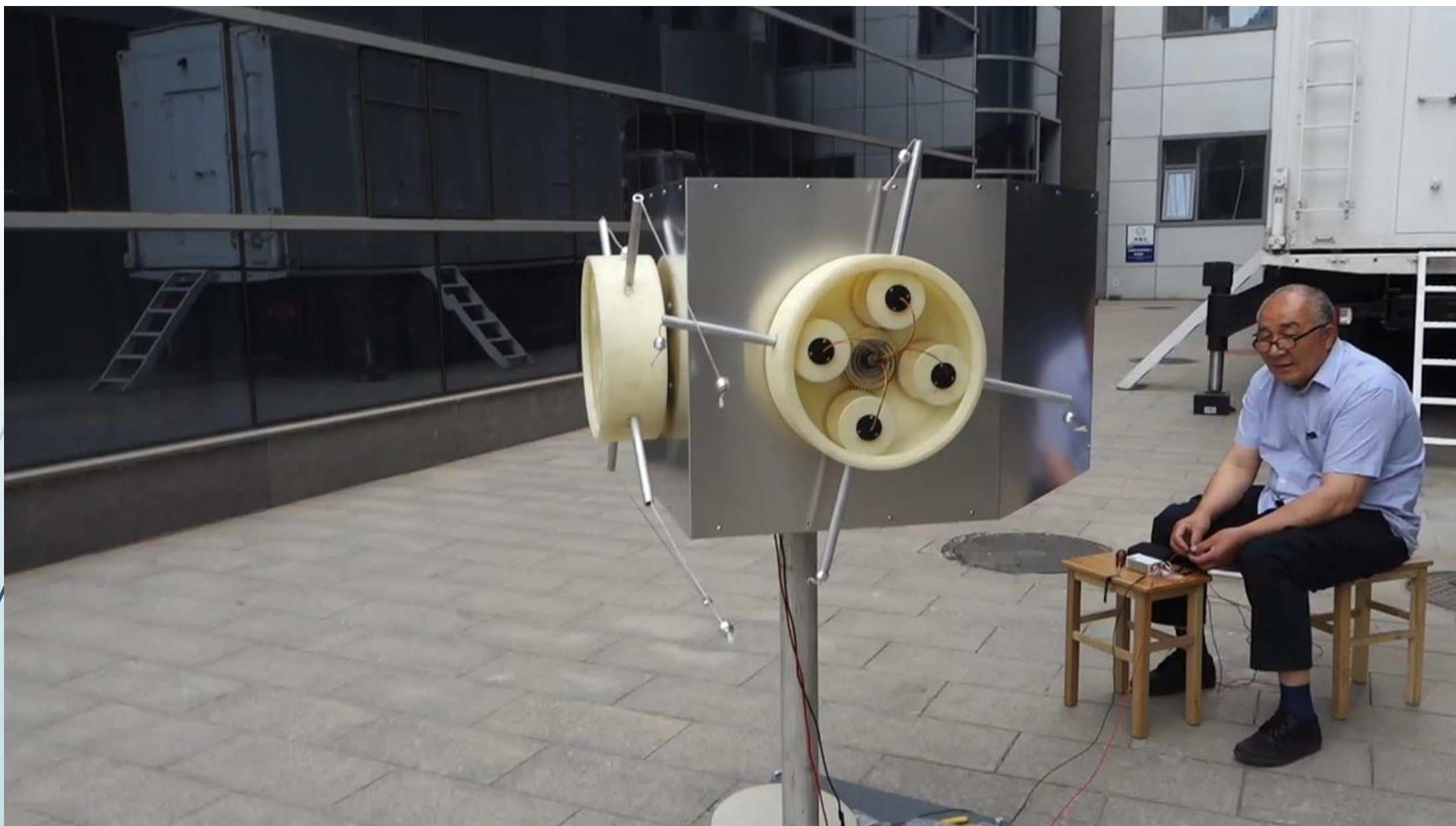
700-80000 km, 倾角 $10^\circ$ , 轨道周期是27.9小时

## 拟搭载的科学观测仪器:

- 电场仪 EFI
- 磁强计 FGM
- 高能粒子探测器 HEPD
- 超低频相互作用分析器 ULF WPIA
- 甚低频相互作用分析器 VLF WPIA
- 低能粒子探测器 LEPS
- 能量粒子探测器 EEPD
- 能量粒子谱仪 EIS
- 低频电磁波 LFEW
- 冷等离子体探测器 CPD

- 1) 高温稀薄空间等离子体三维电场测量
- 2) 观测外带粒子物理尺度三维电场改变粒子运动的微观过程
- 3) 基于真实三维测量的磁层电场模型的建立







Thank you  
for  
listening